

Synthèse de l'étude « Stockage thermique et Exemplarité de l'État »

Constats et recommandations aux
gestionnaires et opérateurs



Auteurs : Prof. K. D'Avignon, Ing. Ph.D.
et V. Chabot, CPI



ÉCOLE DE
TECHNOLOGIE
SUPÉRIEURE
Université du Québec

1. Contexte, objectifs de l'étude et méthodologie
2. Parc immobilier scolaire et stockage thermique
3. Gestion de projet et stratégies contractuelles
4. Performance des ATC et scénarios de substitution
5. Maintenance
6. Conclusion et bonnes pratiques à retenir

Mandat de Transition énergétique Québec (TEQ)

Maintenant : Secteur de l'innovation et de la transition énergétiques (SITE) du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN)

Équipe d'exemplarité de l'État :

- Objectifs de réduction du parc institutionnel
- Accompagnement : identification, planification et réalisation

↗ Énergie renouvelable

Nouvelles constructions et bâtiments existants

CTA : Consommation totale annuelle d'énergie*
(GJ ou kWh)

*excluant procédés

Vocation	$\frac{CTA_{\text{combustible}}}{CTA_{\text{bâtiment}}}$
Bureau	≤ 15%
École prim./sec.	
Cégep	
CHSLD	
Autre	≤ 20%
Université	
Centre hospitalier	

Objectifs de l'étude

Contexte, objectifs et
méthode

Parc immobilier et
stockage

Gestion

Performance

Maintenance

Bonnes pratiques

1. Informer les gestionnaires du parc institutionnel sur le stockage thermique
2. Faciliter le recours aux accumulateurs thermiques électriques : mise en œuvre, impact énergétique, rentabilité
3. Promouvoir les conditions gagnantes, bonnes pratiques, recommandations en vue de travaux futurs

Contexte, objectifs et
méthode

Parc immobilier et
stockage

Gestion

Performance

Maintenance

Bonnes pratiques

1. Inventaire du stockage thermique :

Dresser l'état des lieux

2. Entrevues avec gestionnaires, opérateurs et concepteurs :

Pratiques et processus actuels, bonnes pratiques et recommandations pour le futur

3. Étude de performance :

Performance actuelle, effets des pratiques actuelles sur la performance

4. Scénarios de comparaison vs d'autres technologies :

Avantages et inconvénients → Prise de décision éclairée

Économies \$

Réduction des GES

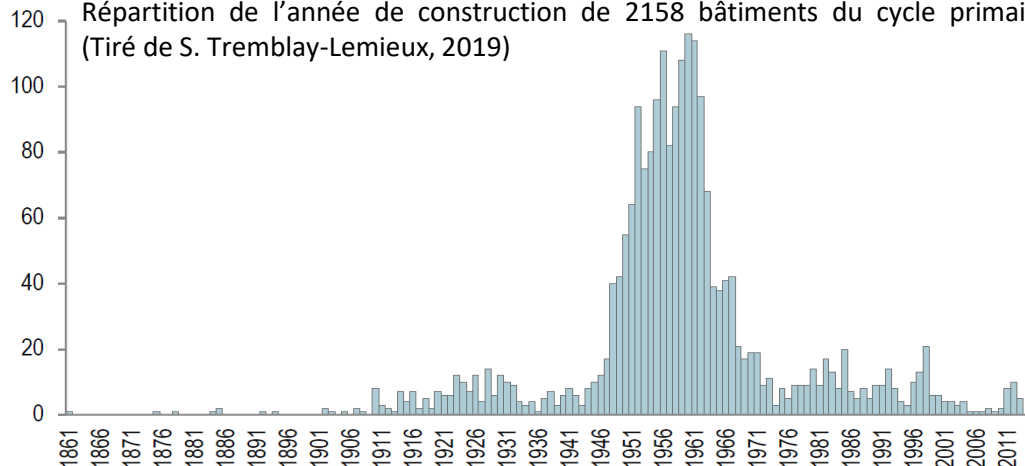
Dominance 1945 - 70

Normes de construction : 1976

Avant 1976 :

- Enveloppe faible
- Réseaux hydroniques
- Combustibles fossiles
- Ventilés naturellement

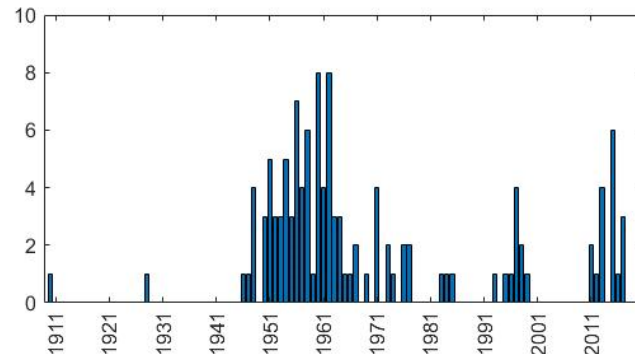
Répartition de l'année de construction de 2158 bâtiments du cycle primaire.
(Tiré de S. Tremblay-Lemieux, 2019)



Bâtiments répertoriés :

Dominance 1945 - 70, mais ...

- Enveloppe partiellement rénovée
- Réseaux hydroniques
- Ventilés naturellement (46/121)



Adapté de la figure 8 : Répartition de l'année de construction des bâtiments d'intérêt (n=121).



Figure 3: Nombre de bâtiments répertoriés suite à l'appel à participer.

4 catégories d'intérêt

Stockage est...

A : Présent et fonctionnel

B : Évalué, mais pas retenu

C : À venir

D : Retiré

Résultat :

156 bâtiments dans 10 centres de services scolaires (CSS)

Source d'énergie avant/après stockage thermique

Contexte, objectifs et
méthode

Parc immobilier et
stockage

Gestion

Performance

Maintenance

Bonnes pratiques

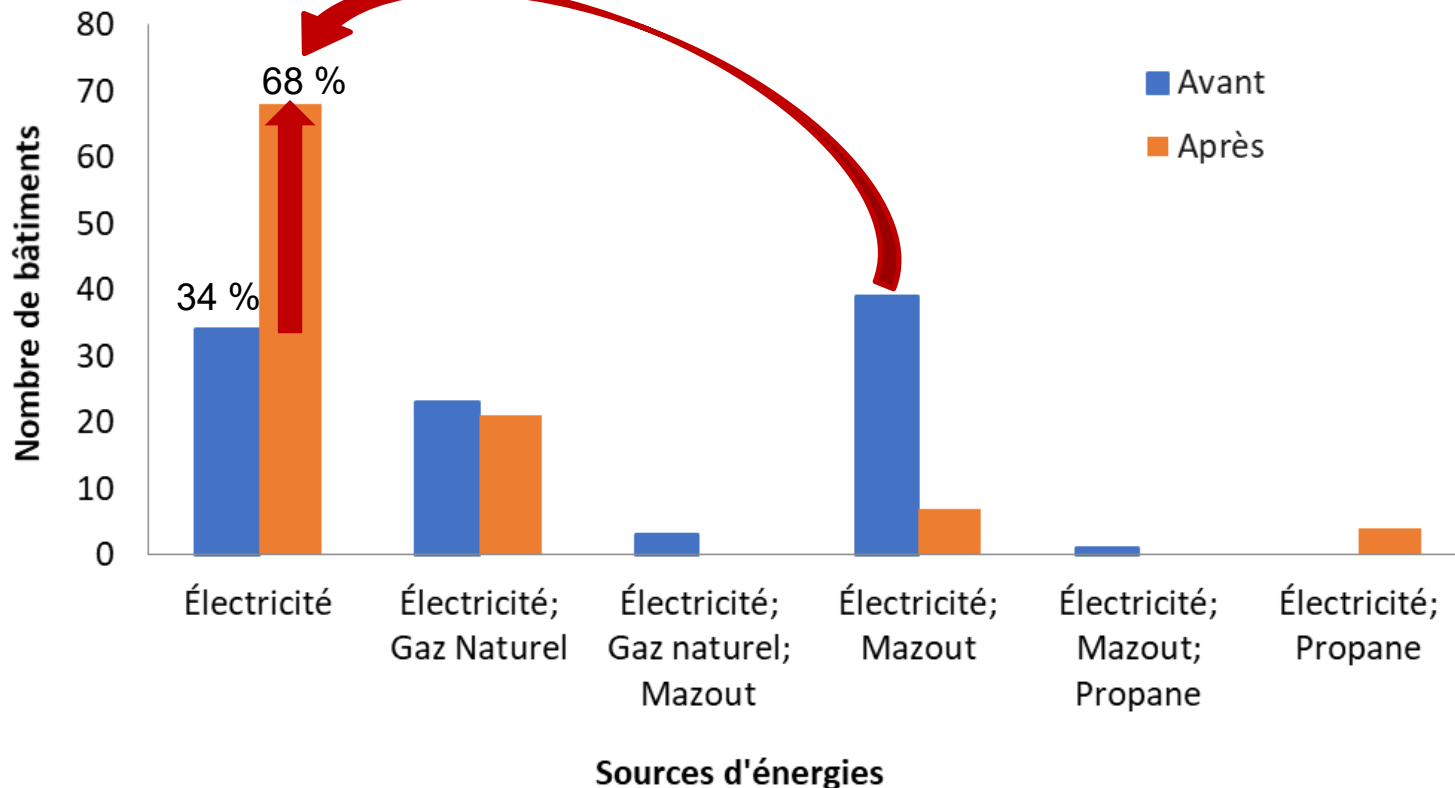


Figure 10 : Répartition des sources d'énergie avant et après l'installation du stockage (n=100).

Technologies	Nombre de bâtiment			
	A	B	C	D
Accumulateurs thermiques →	67	2	18	4
Type centralisé, hydronique	51	0	9	4
Type centralisé, à air forcé	1	0	0	0
Type local, à air forcé	15	1	7	0
Géothermie →	37	0	5	1
Réservoir d'eau	2	0	0	1
Matériaux à changement de phase	0	0	0	3
Stratégies de contrôle →	69	0	6	0
Toutes technologies confondues	175	2	21	9

Tableau 1: Répartition des bâtiments répertoriés selon les technologies et la catégorie de chaque site.

- Combinaisons fréquentes :
1. ATC + stratégies contrôle
 2. Géothermie + ATC
 3. ATL + stratégies contrôle

Accumulateur thermique centralisé (ATC)

Contexte, objectifs et méthode

Parc immobilier et stockage

Gestion

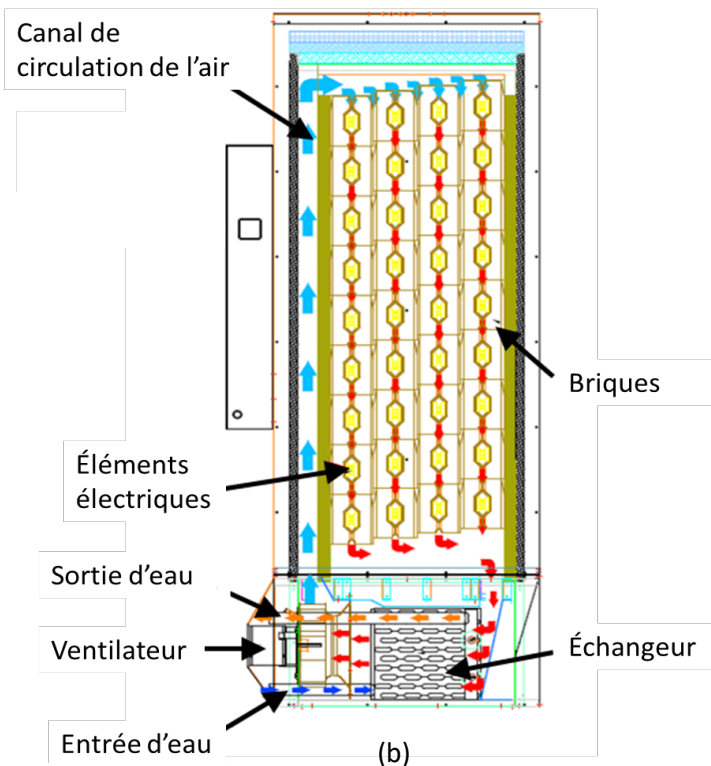
Performance

Maintenance

Bonnes pratiques



(a)



(b)

Modèle hydronique (ThermElect)

	9150	9180
Énergie max. stockée (kWh)	290	440
Puissance max. charge ($\text{kW}_{\text{élec.}}$)	53	80
Puissance max. décharge ($\text{kW}_{\text{therm.}}$)	~70	~80
Masse (kg)	2 120	2 960
Superficie au sol	~12 pi ² ; 1,1 m ²	

Steffes Corporation. (s.d.). Fiche technique : ThermElect hydronique. Révision 2.

Décharge = Besoins thermiques à combler

- Puissance kW **ET** énergie kWh requises
- **À anticiper**

Énergie stockée = Température stockage

- Combien stocker kWh?

Charge = Énergie à stocker vs Décharge

- **Anticiper** puissance électrique disponible à quelle heure et combien kW?
- Détermine **durée de charge** requise

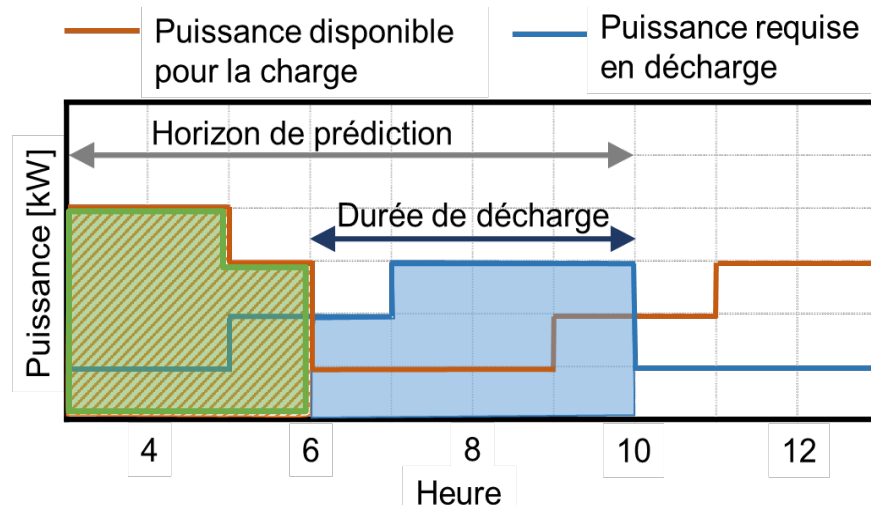


Figure 2: Exemple de commande prédictive.

Contrôle repose sur une commande prédictive

Décharge

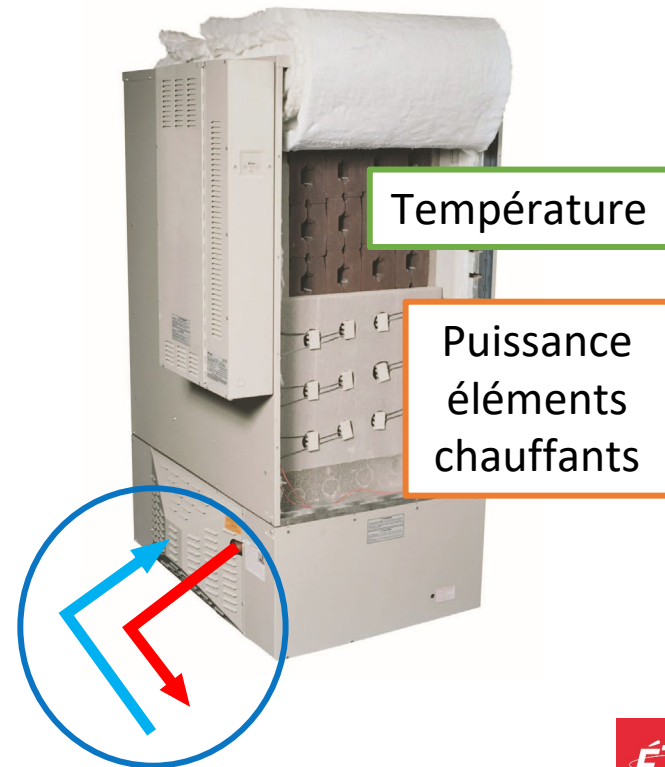
- ↘ Énergie stockée ► ↘ Puissance max. décharge

Énergie stockée

- ↗ Température briques ► ↗ Pertes thermiques

Charge

- ↗ Énergie stockée ► ↗ Puissance élec. appelée



Analogie : Eau chaude domestique

Contexte, objectifs et
méthode

Parc immobilier et
stockage

Gestion

Performance

Maintenance

Bonnes pratiques

Décharge

- ↘ Énergie stockée ► ↘ Puissance max. décharge

Besoins
anticipés :
matin, soir

Énergie stockée

- ↗ Température eau ► ↗ Pertes thermiques

60°C

Charge

- ↗ Énergie stockée ► ↗ Puissance élec. appelée

Périodes
creuses :
Milieu de
journée, nuit



Figure tirée de :

Hydro-Québec. (2022). Mieux consommer : Eau chaude.

Repéré à : <https://www.hydroquebec.com/residentiel/mieux-consommer/eau-chaude/chauffe-eau.html>.

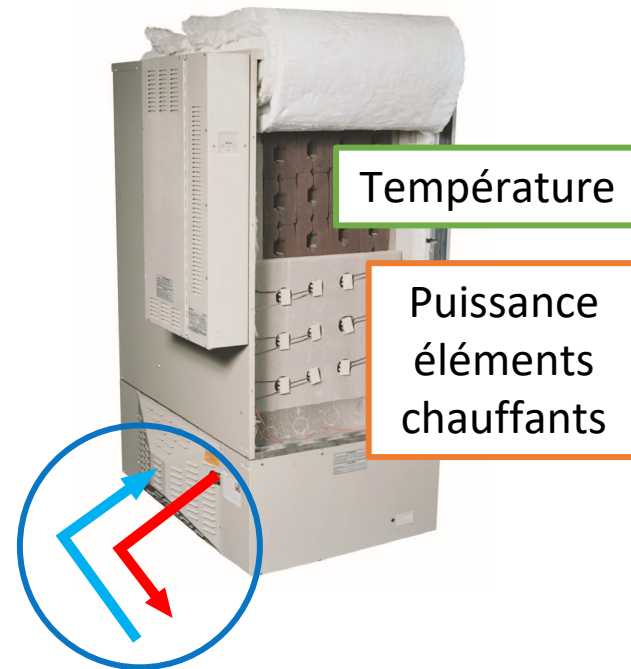
Décharge

Énergie stockée

Charge

« *Ce n'est pas tant compliqué à opérer. Côté contrôle, ce n'est pas compliqué non plus. C'est juste de savoir **comment l'optimiser.*** »

- Participant #1, entrevues O&M



Principales motivations :

- Remplacer équipements désuets / réfection de chaufferie
- Réaliser transformation majeure (ex: agrandissement)
- Nouvelle construction

... en profiter pour réduire :

- Frais d'exploitation
- GES liés au chauffage

ID.	Exp. Perso.	Localisation des projets		
		Hors centre	Rég. Métropol. Mtl.	Rég. de Capitale
1	36 projets	X		
2	2 projets		X	
3	1 projet	X		
4	3 projets		X	
5	2 projets			X
6	2 projets		X	
7	4 projets		X	

Adapté du Tableau 4: Caractéristiques des participants aux entrevues – volet approvisionnement.

Modes contractuels utilisés :

- Traditionnel plus bas soumissionnaire.
Financement en maintien d'actifs.
- Économie d'énergie garantie (EEG).
Autofinancement du projet.

Constat : Méconnaissance du contrat EEG et de la **possibilité d'y recourir**.

Appels d'offres et contrats types :

<https://transitionenergetique.gouv.qc.ca/affaires/secteurs/secteur-institutionnel/guides-et-outils-pour-les-gestionnaires/projets-deconomie-denergie-garantie>

ID.	Exp. Perso.	Stratégie contractuelle	
		Expérience	Opinion
1	36 projets	Trad.	Favorable
		EEG	Favorable
2	2 projets	Trad.	Défavorable
		EEG	Favorable
3	1 projet	Trad.	Passablement favorable
4	3 projets	Trad.	Favorable
5	2 projets	Trad.	Passablement favorable
6	2 projets	Trad.	Favorable
7	4 projets	Trad.	Favorable

Adapté du Tableau 4: Caractéristiques des participants aux entretiens – volet approvisionnement.

Contexte, objectifs et
méthode

Parc immobilier et
stockage

Gestion

Performance

Maintenance

Bonnes pratiques

Peu importe le mode contractuel, s'assurer d'avoir les **conditions gagnantes**.

→ Expertise requise durant 1^{ère} année pour ajuster séquence de contrôle.

- Dans le contrat : Mise en service améliorée
- À l'interne
- Contrat de service à l'externe

→ Optimisation : ATC & réseau dans son ensemble.

Mode	Traditionnel	EEG
Financement	Maintien d'actifs	Autofinancement
Octroi	Plus bas soumissionnaire *B.P.#1: Présélection qualité	Sélection qualité et VAN
Mise en service améliorée 1 an	*B.P.#2: À spécifier au contrat pour optimiser contrôle	Incluse dans le contrat
Spécification particulière	*B.P.#3: Prévoir l'accès aux prévisions météo du jour suivant	

B.P.#12 : Prévoir l'**ajout de mesurage** sur les réseaux de chauffage existants lorsqu'une réfection de la chaufferie est prévue.

- Fournir données d'opération aux concepteurs
- Préciser séquence de contrôle **dès la conception**
- ↘efforts et durée rodage fait par les opérateurs durant 1^{ère} année

*Lors de réfection/électrification chaufferie **existante**.

*Aller chercher ces données avant de lancer l'appel d'offres.

Contexte, objectifs et
méthode

Parc immobilier et
stockage

Gestion

Performance

Maintenance

Bonnes pratiques

Sites caractérisés par :

- Sources de chauffage en place
- Utilisation de l'ATC : source principale ou gestion de pointe
- Usages desservis par le réseau hydronique : Rad, A/N, ECD
- 2 scénarios de substitution retenus : 100% électrique; biénergie
- Économies : \$, kW, GES

Configuration typique #1

Contexte, objectifs et
méthode

Parc immobilier et
stockage

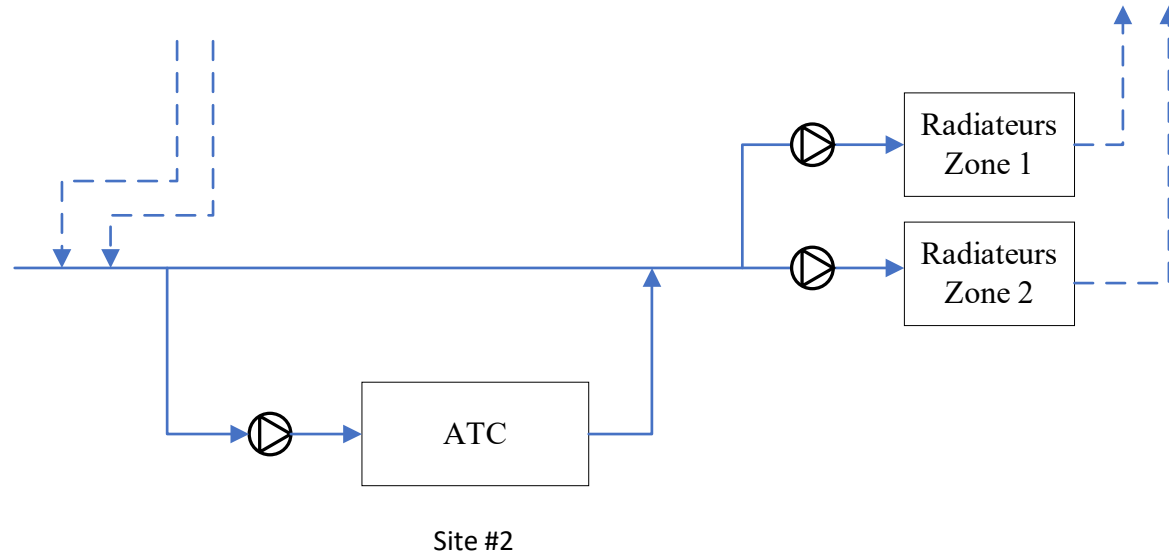
Gestion

Performance

Maintenance

Bonnes pratiques

- Sources de chauffage : ATC seulement
- Source principale : électricité (ATC)
- ATC : source principale
- Usage : Rad



Configuration typique #1

Contexte, objectifs et
méthode

Parc immobilier et
stockage

Gestion

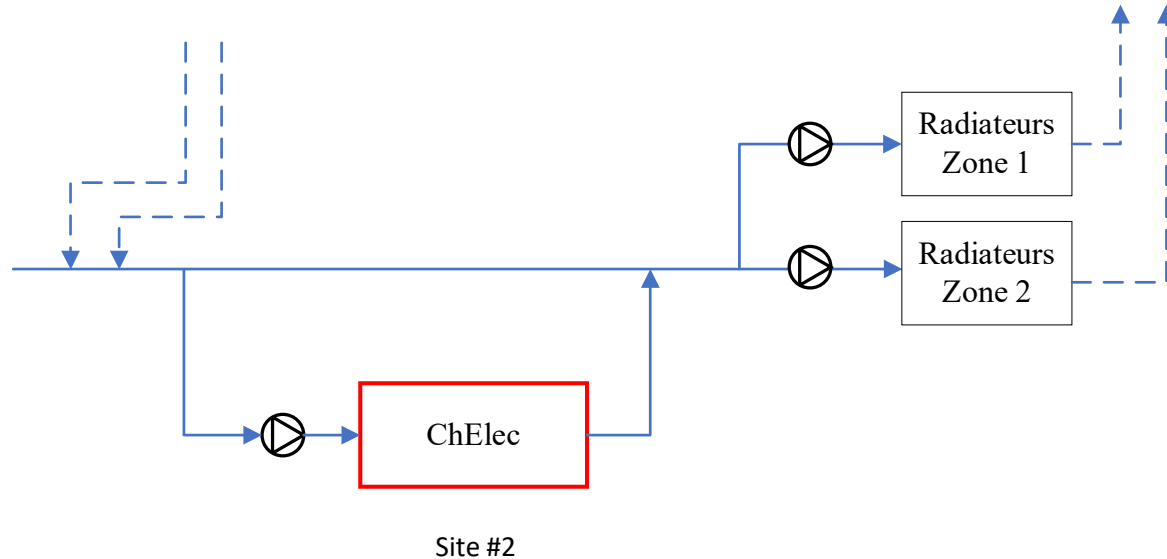
Performance

Maintenance

Bonnes pratiques

Scénario de substitution : 100 % électrique

ATC  Chaudière électrique



Configuration typique #2

Contexte, objectifs et
méthode

Parc immobilier et
stockage

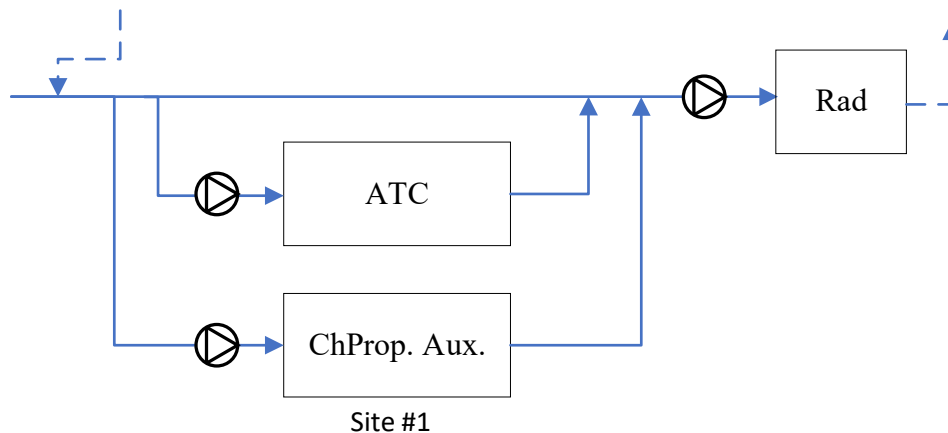
Gestion

Performance

Maintenance

Bonnes pratiques

- Sources de : ATC + ChProp
- Source principale chauffage : électricité (ATC)
- ATC : source principale
- Usage : Rad



Configuration typique #2

Contexte, objectifs et
méthode

Parc immobilier et
stockage

Gestion

Performance

Maintenance

Bonnes pratiques

Scénario de substitution ... selon critère Exemplarité de l'État

$$CTA_{\text{comb}}/CTA_{\text{total}} < 15\%$$

Biénergie

Pointes → Combustible

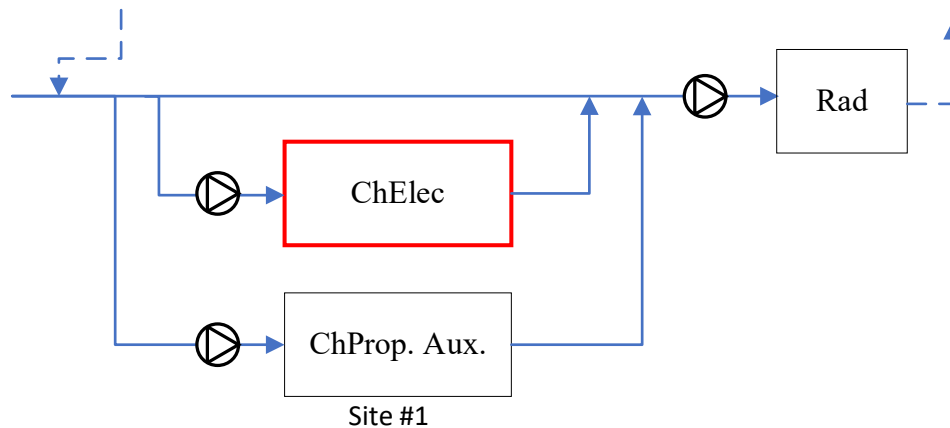
Reste : ATC → Ch. électrique

$$CTA_{\text{comb}}/CTA_{\text{total}} \geq 15\%$$

100% électrique

Cons. combustible inchangée

ATC → Ch. électrique



Configuration typique #3

Contexte, objectifs et
méthode

Parc immobilier et
stockage

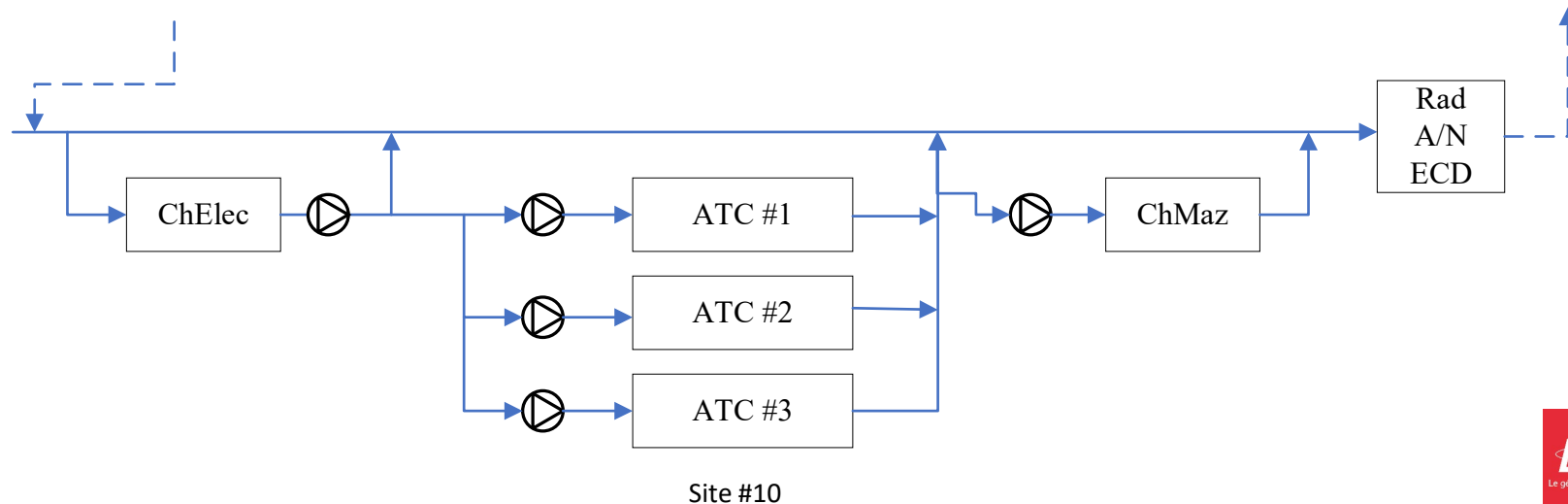
Gestion

Performance

Maintenance

Bonnes pratiques

- Sources de chauffage : ATC + ChElec + ChMaz
- Source principale : électricité (ChElec)
- ATC : gestion de pointe
- Usages : Rad + A/N + ECD



Configuration typique #3

Contexte, objectifs et méthode

Parc immobilier et stockage

Gestion

Performance

Maintenance

Bonnes pratiques

Scénario de substitution ... selon critère Exemplarité de l'État

$$CTA_{\text{comb}}/CTA_{\text{total}} < 15\%$$

Biénergie

Pointes → Combustible

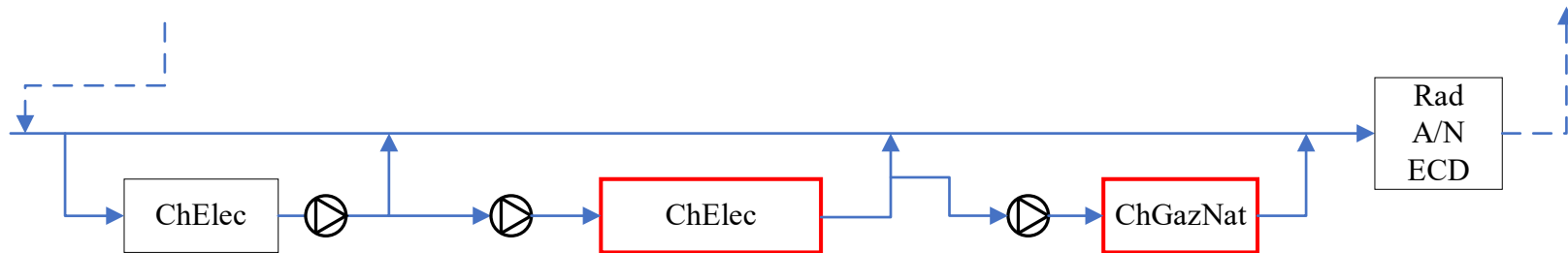
Reste : ATC → Ch. électrique

$$CTA_{\text{comb}}/CTA_{\text{total}} \geq 15\%$$

100% électrique

Cons. combustible inchangée

ATC → Ch. électrique



Scénarios de substitution 100 % électrique

Usage ATC	No. site	Superficie (m ²)	Réd. Facture	Facture saison sans ATC	Réd. pointe saison	Pointe saison sans ATC	Réd. GES
Source principale	#1	1 438	-2 500 \$	14 000 \$	-51 kW	140 kW	-
	#2	901	-1 500 \$	8 300 \$	-44 kW	101 kW	-
	#18	2 242	-1 600 \$	16 300 \$	-30 kW	92 kW	-
Pointe	#9	7 742	+1 900 \$	48 900 \$	-37 kW	249 kW	-
	#11	18 628	-750 \$	72 550 \$	-19 kW	378 kW	-
	#16	3 704	-2 200 \$	20 600 \$	-68 kW	213 kW	-

Scénarios de substitution Biénergie

Usage ATC	No. site	Superficie (m ²)	Réd. facture	Facture saison sans ATC	Réd. pointe saison	Pointe saison sans ATC	Réd. GES (t. CO ₂ éq)	GES saison sans ATC (t. CO ₂ éq)
Source principale	#4	4 402	-1 400 \$	24 900 \$	-5 kW	162 kW	-21,6	22
Pointe	#10	34 262	+250 \$	160 100 \$	-	1 134 kW	-13	28
Source principale (1) et pointe (1)	#5	3 904	-1 100 \$	22 300 \$	+35 kW	122 kW	-36	38

R.#4 : Que les programmes de subvention disponibles pour l'implantation d'un ATC soient activement publicisés auprès des firmes de génie-conseil, des ESE et des gestionnaires de bâtiments institutionnels.

Programme	Mesures	Appui financier
Solutions Efficaces, HQ	Mesures ↘ cons. électricité chauffage ET ATC sur boucle d'eau chauffée à l'élec.	16 240 \$ par ATC 290 kWh 24 640 \$ par ATC 440 kWh Appuis pour les autres mesures.
ÉcoPerformance, TEQ	↘ GES : Retrait et remplacement chaudière au combustible par un appareil élec.	Jusqu'à 75 % des coûts admissibles.

Performance dépend de l'opération et maintenance

Contexte, objectifs et
méthode

Parc immobilier et
stockage

Gestion

Performance

Maintenance

Bonnes pratiques

Enjeux d'O&M constatés	Rendement ATC
Priorité de décharge	ATC #1 (source principale) : 88 % ATC #2 (pointe) : 73 % Même température briques (pertes), mais utilisation différente!
Faible débit d'eau mesuré (25% valeur nominale)	66 % Utilisation similaire sur d'autres sites : 75 – 85 %
Ventilateur défaillant	0 %... Aucune décharge pendant la saison

→ Fort impact sur la performance

10/16 bonnes pratiques en O&M

Contexte, objectifs et
méthode

Parc immobilier et
stockage

Gestion

Performance

Maintenance

Bonnes pratiques

« Les gestionnaires [de systèmes CVCA] ont tellement de systèmes à gérer et de plus en plus complexes, il faut **rendre ça simple [leur opération]**. Quelqu'un qui ne reçoit pas un **message d'alarme**, il ne se rendra pas compte tout de suite du problème et ne pourra pas le corriger [...]. »

- Participant #5, entrevues conception

B.P.#6 :

Implémenter des séquences **dans le BMS pour détecter et diagnostiquer** les défaillances de composants.

Contexte, objectifs et
méthode

Parc immobilier et
stockage

Gestion

Performance

Maintenance

Bonnes pratiques

Objectif :

Documenter la maintenance à anticiper et les précautions à prendre

Permettre aux gestionnaires et opérateurs de mieux planifier :

- Budget
- Ressources humaines et matérielles
- Opération du réseau de chauffage et disponibilité de l'ATC

Tableau 5: Caractéristiques des participants aux entrevues - volet opération et maintenance

ID.	Employeur	Nb. bâtiments	Nb. ATC	Année d'installation du 1 ^{er} ATC	Nb. total de saisons de chauffage
1	CSS-Ressources matérielles	12	19	2011	99
2		1	2	2012	18
3		16	16	2008	85
4		6	6	2011	53
5		18	30	2006	339
6		2	5	2015	30
7		10	11	2012	52
8	ESE	6	12	2016	57
9		n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
10	Firme de génie-conseil	1	~ 2	n. d.	n. a.
11	SQI-Exploitation	4	~ 7	2018	~ 4
12		~ 2	> 15	2008	n. d.
13		1	9	2009	108

Retour sur les composants de l'ATC

Contexte, objectifs et
méthode

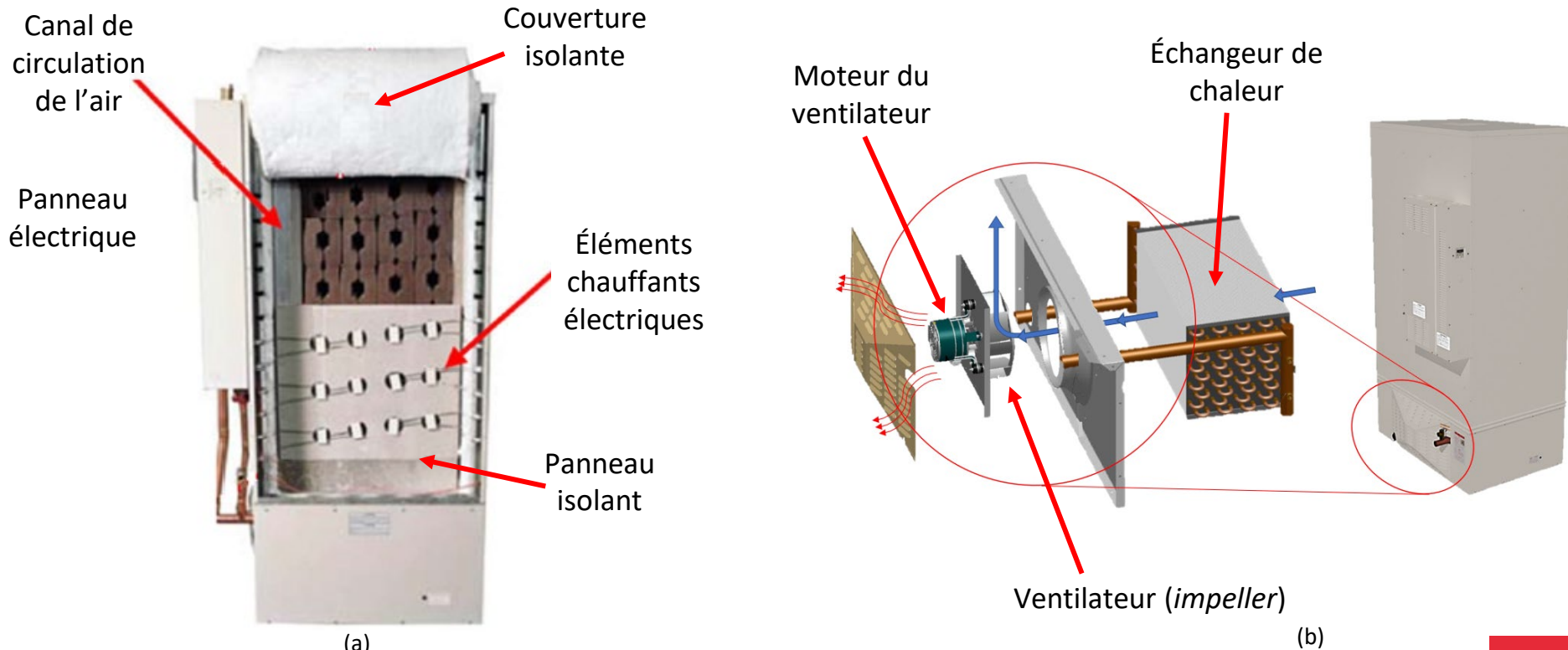
Parc immobilier et
stockage

Gestion

Performance

Maintenance

Bonnes pratiques



Figures adaptées de :

(a) Steffes Corporation. (2016). Heating Element Service and Repair Guide for 8100 & 9100 Series ThermElect. 8 p.

(b) Steffes Corporation. (2020). Manuel d'utilisation et d'installation, ThermElect hydronique. Modèles 9150, 9180. Version 2.18.

Remplacements documentés

Contexte, objectifs et méthode

Parc immobilier et stockage

Gestion

Performance

Maintenance

Bonnes pratiques

Composants	ID.	Nb. ATC	Type	Coût approx. (\$)	Fréquence	Temps approx.
Moteur de ventilateur	#1	n.d.	C-R	500-600	Aux 2-3 ans	2-3 h
	#2	1	C	n.d.	Après 7 ans	3 h
	#3	n.d.	C	n.d.	Après 10 ans	1,5 h
	#4	~4-5	C	1 000	Après 2-5 ans	2 h
	#5	n.d.	C	n.d.	n.d.	n.d.
	#7	2	C	n.d.	n.d.	n.d.
	#8	n.d.	C-R	1 000	Aux 2-3 ans	n.d.
	#11	1	C	n.d.	Après 1 an	n.d.
	#12	1	C	n.d.	Après 1 an	n.d.
	#13	4	C	800	Après ~6 ans	4 h

ATC source principale de chauffage :

→ Grand nb d'heures d'opération

→ Faible demande de chauf. = basse vitesse

*Cause potentielle à basse vitesse : Courant
appelé supérieur au courant nominal*

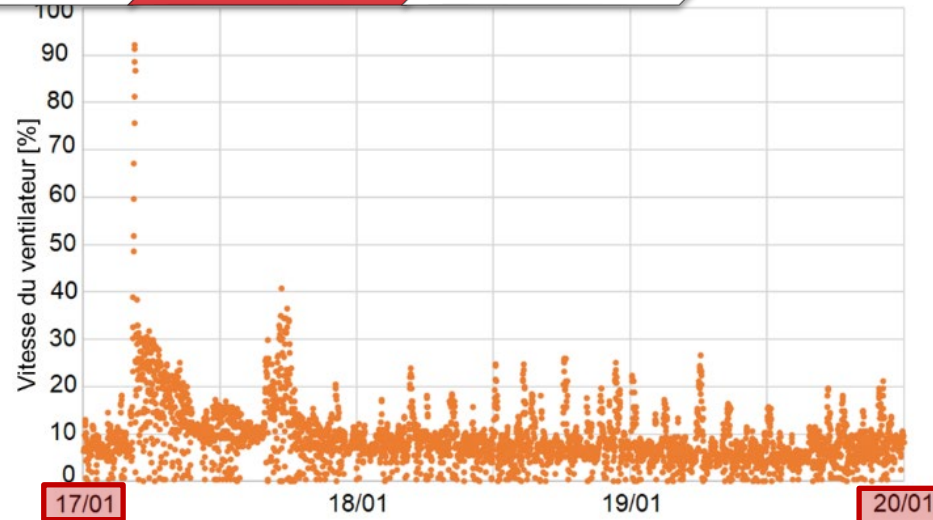


Figure 13 : Vitesse du ventilateur de l'ATC1, site #3, 17 au 20 janvier 2021

B.P.#7: Ne pas faire fonctionner le ventilateur de l'ATC à bas régime pendant une **durée prolongée**.

B.P.#8 : Si ATC est la **source principale de chauffage**, prévoir un moteur de ventilateur en inventaire pour remplacement curatif imprévisible.

Remplacements documentés

Contexte, objectifs et
méthode

Parc immobilier et
stockage

Gestion

Performance

Maintenance

Bonnes pratiques

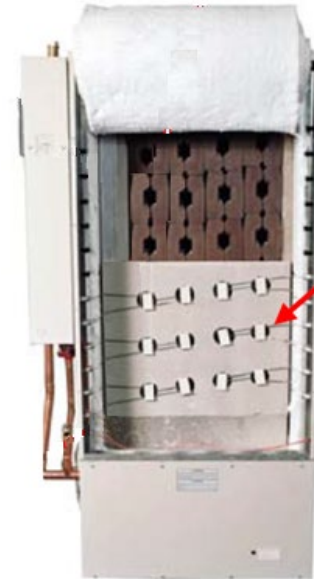
Composants	ID.	Nb. ATC	Type	Coût approx. (\$)	Fréquence	Temps approx.
Éléments chauffants ¹	#2	1	C	15 000/18 un.	Après 8 ans	1-1,5 jrs/18 un.
	#5	n.d.	C	800/un.	Après 8-10 ans	2 h/un.
Éléments chauffants et isolant ²	#4	3	C-R	12 000- 15 000/12 un.	Après 8-10 ans	1-2 jrs/12 un.

¹un. : unité = 1 paire d'éléments chauffants. 18 paires dans le modèle 9180.

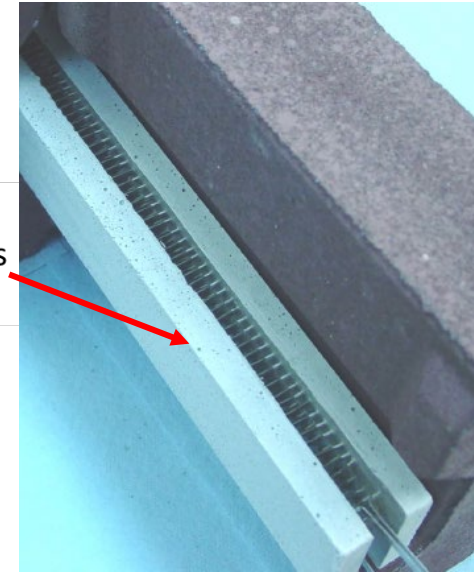
²Coûts et temps approx. pour éléments chauffants + isolant

Peu de remplacements rapportés,
mais **intervention majeure**

- Mise hors service 2-4 jrs
- Multiples défaillances avant de tous les remplacer (+ de 4-5 un./18)
- Personnel interne ou externe



(a)



(b)

Figures adaptées de :

(a) Steffes Corporation. (2016). Heating Element Service and Repair Guide for 8100 & 9100 Series ThermElect. 8 p.

(b) Desbiens, P.-M., & Groupe Master. (2016). L'accumulateur thermique. Communication présentée au Colloque Multi Énergies, Québec (Qc), Université Laval.

B.P. #4 : Ne pas maintenir l'ATC à haute température ($>700^{\circ}\text{C}$) pendant des périodes prolongées.

Consigne mensuelle :
 760°C

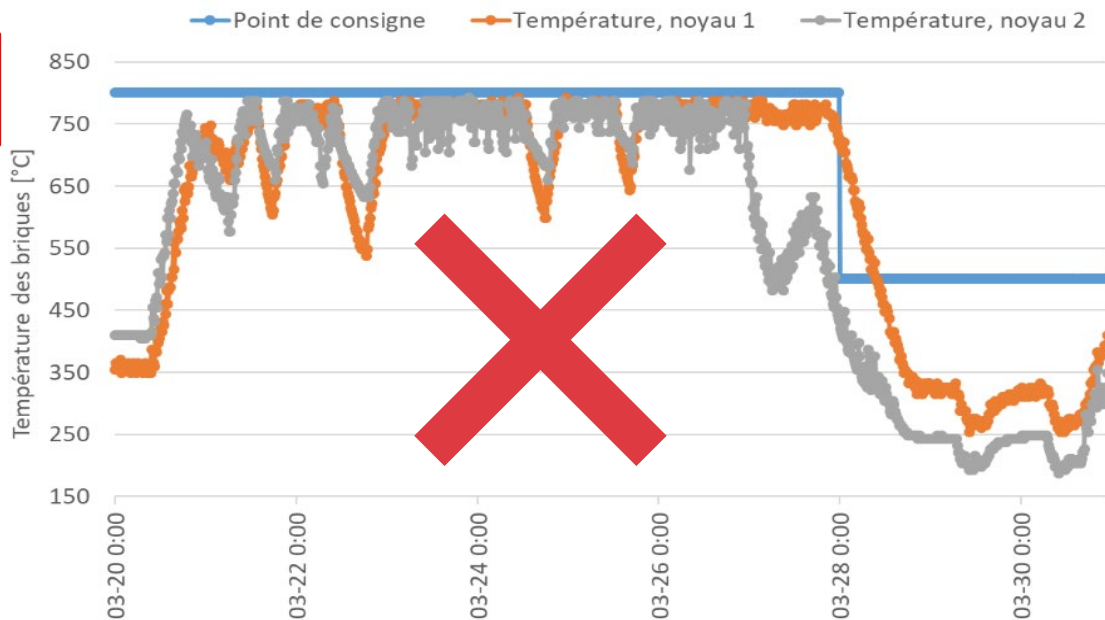


Figure 16: Opération d'un accumulateur ThermElect9150 sur la base d'une consigne mensuelle de niveau de charge (site #18).

Aucune détection automatisée par l'ATC :

B.P. #6 : Intégrer des alertes de défaillances sur l'interface du BMS.

Maintenance préventive :

B.P. #9 : Prioriser la vérification de l'état des éléments chauffants **via le panneau électrique** plutôt qu'en ouvrant l'appareil.

Panneau
électrique



Éléments
électriques
chauffants

B.P. #10 : Prévoir une maintenance préventive annuelle.

Pratiques recommandées dans la **fiche**.

▶ Moteur : 500-1000 \$, 2-4 h

▶ Éléments chauffants : 800-900\$ / un. (9180 = 18 un.)

1-2 jrs pour remplacer + temps refroidissement/réchauffe

Forts liens entre l'opération, la maintenance et la performance.

S'assurer de la qualité de l'expertise et optimiser durant 1^{ère} année.

Mode traditionnel :

- Présélection **qualité** pour conception, contrôle et entrepreneurs.
- Mise en service améliorée aux frais du soumissionnaire 1^{ère} année.

Peu importe le mode :

- Spécifier l'intégration d'une prévision météo.
- Demander d'intégrer des alertes sur l'interface du BMS.
- Prévoir mesurage/enr. données lors de réfection de chaufferie pour que les concepteurs élaborent ++ la séquence de contrôle.

O&M :

- Précautions liées à l'opération (moteur du ventilateur, éléments chauffants).
- Ressources à allouer annuellement pour maintenance préventive.

Les auteurs tiennent à remercier :

Étudiants-chercheurs :

Milena Kalzou Baré

Julien Charbonneau

Sullivan Danjou

Julien Drouet

Eyé Imelda Ido

Abdelkrim Makhoulf

Eve Patricia Ngangsop Ngopjop

Personnel de :

Centres de services scolaires (CSS)

Newtech Électricité

Direction de l'exploitation des immeubles de la
Société québécoise des infrastructures (SQI)

Expertise énergétique d'Hydro-Québec

Steffes Corporation

Contrôles AC Inc.

Bouthillette Parizeau

Ecosystem

EXP

GBI

Johnson Controls

LGT

Ponton Guillot

Contact :
katherine.davignon@etsmtl.ca